

RADIO

WIJ EN DE ELEKTRONICA

1

De radio

De radio kennen we het beste door de radio-omroep. Het geluid, dat in de studio wordt geproduceerd, bereikt ons oor in nagenoeg ongewijzigde vorm via de microfoon, de zender, de ontvanger en tenslotte de luidspreker. Al deze toestellen zijn hierbij alleen maar hulpmiddelen om de luisteraar mee te laten horen naar dat wat in de studio wordt geboden: het geluid.
Het is daarom nodig eerst in te gaan op de vraag wat geluid eigenlijk is, en waarom zo'n technische omweg bij de overbrenging nodig is.

Wat is geluid ?

Steeds als we geluid horen, blijkt dat er ergens in de buurt een voorwerp is dat trilt. De trillingen van die geluidsbron worden door de lucht naar het oor overgebracht. Hierbij planten de geluidsgolven zich voort met een snelheid van ongeveer 340 m/sec; 1 km in elke 3 seconden.
Niet elk trillend voorwerp brengt geluid voort. Zo hoort men niets als er met de hand wordt gezwaaid, ook al gaat dat nog zo snel mogelijk - wat ongeveer vijf keer per seconde is. Maar de vleugels van een mug, die ruim duizend keer per seconde op en neer gaan, brengen wel geluid voort. Geluid ontstaat pas als het aantal trillingen per seconde, de z.g. frequentie, groter is dan een bepaalde waarde, nl. de onderste gehoorgrens. Deze grens ligt ongeveer bij 20 trillingen per seconde, 20 hertz of 20 Hz. Laag is een toon van b.v. 50 Hz, hoog één van 5000 Hz.



Een bibberend lichaam kan ook geluid maken.

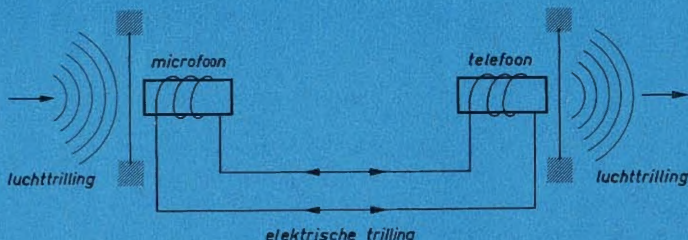
Er is ook een bovenste gehoorgrens. Het menselijk oor hoort geen geluid met een frequentie hoger dan 16 000 Hz à 20 000 Hz; deze grens is afhankelijk van de leeftijd. Bepaalde dieren horen hogere tonen: het voor ons onhoorbare hondefluitje bewijst dit. Men spreekt dan van ultrasoon geluid.

Voor het voortbrengen van geluid is energie nodig; de geluidsgolven brengen energie over. Hoe groter de trillingsuitwijking, de z.g. amplitudo, des te sterker de toon en hoe meer geluidsenergie er is.

Geluidsvoortplanting

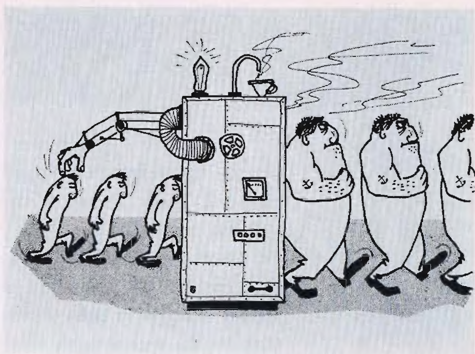
Het geluid breidt zich van de geluidsbron uit in de ruimte. Steeds wijder wordt het gebied waarover de geluidsenergie wordt verdeeld. Slechts een gedeelte van deze energie bereikt de waarnemer en wel steeds minder naarmate deze verder weg is. Door deze „verdunning" zal het geluid in sterkte afnemen en al spoedig onhoorbaar zijn. Een in Hilversum in de openlucht spelend omroeporkest zal, zonder meer, alleen hoorbaar zijn in de nabije omgeving.

Men kan grotere afstanden overbruggen door de verdun-

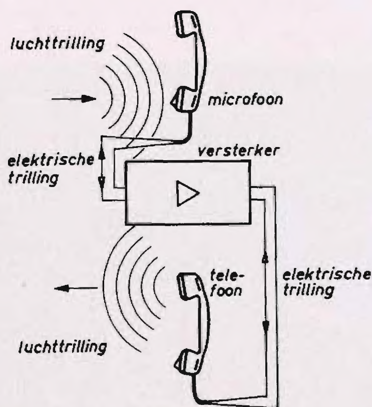


ning ten gevolge van de uitbreiding van het geluid in de ruimte te verminderen, b.v. door een scheepsroeper te gebruiken, dan wel te voorkomen, b.v. door middel van buizen. Spreekbuizen werden destijds als een soort huistelefoon gebruikt en op kleinere schepen wordt dit nu nog tussen brug en machinekamer toegepast. Men komt hiermee echter niet ver genoeg; bovendien laat de geluidskwaliteit op grote afstand te wensen over.

De elektronentechniek komt te hulp



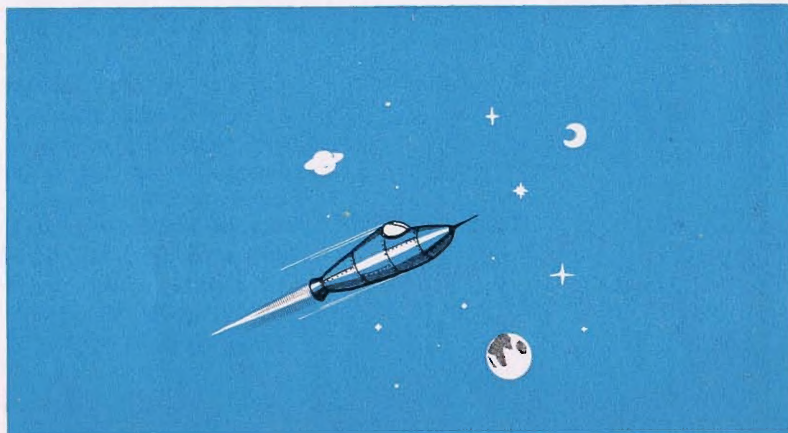
Sinds o.a. Graham Bell op dat gebied bepaalde ontdekkingen deed, kan de overbrenging over vrij grote afstand gemakkelijk en wel langs elektrische weg geschieden.
Hierbij is een gesloten elektrische keten nodig, die wordt gemaakt door de twee betrokken plaatsen door een heen- en terugdraad te verbinden. Aan de ene kant is in de keten de microfoon, aan de andere kant de telefoon opgenomen; elk bestaat uit een beweeglijk ijzeren trilplaatje, een magneetje en een draadspoeltje, welke laatste in de keten is opgenomen. (Er zijn ook andere typen, maar dat is voor het principe niet van belang.) De geluidsgolven brengen het microfoonplaatje in beweging en door inductie ontstaat dan in het spoeltje en dus ook in de gehele elektrische keten een elektrische trilling. Dit is een z.g. wisselstroom, waarbij de elektriciteit in de leiding heen en weer trilt in hetzelfde rithme als de lucht dat deed. Deze wisselstroom gaat door het spoeltje in de telefoon, waardoor dit als een elektromagneet gaat werken. Hierdoor wordt het telefoonplaatje weer in trilling gebracht en daarmede dus ook de lucht er omheen. Daar deze luchttrilling ook weer een nauwkeurige afspiegeling is van de elektrische trilling, hoort men hier het oorspronkelijke geluid. Zo kan men dus, via de gemakkelijk over lange afstand te transporteren elektrische trilling, geluid overbrengen.
Daar van zeer lange ketens de elektrische weerstand groot is en de microfoon daarin slechts zeer zwakke stroompjes kan opwekken, deed zich al spoedig de behoefte gevoelen aan versterking. Men neemt dan in de keten een ver-



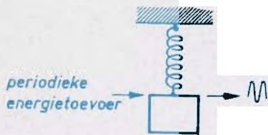
sterker op, waardoor zoveel elektrische energie kan worden verkregen, dat ook luidsprekers kunnen worden gebruikt. Men krijgt dan het schema van blz. 3.
Bij telefonie, dus voor het gesproken woord, kan met frequenties van 200 Hz tot ca 4000 Hz worden volstaan. De frequentiegrenzen zijn wijder naarmate men aan de kwaliteit hogere eisen stelt, zoals bij de overdracht van muziek. Hi-Fi weergave gaat van 50 Hz tot 15 000 Hz (het gehele audiofrequente gebied).
Hiermee is het principe van de telefonie, de geluidsversterker en de draadomroep gegeven. Maar radio-omroep is nog wat anders. Hoe kan men geluid ontvangen uit een studio waarmee men geen directe draadverbinding heeft? Hoe kan men echt „omroepen", over gehele landen en continenten heen? En hoe kan de luisteraar een keuze doen uit de vele omroepzenders?

De radio

Als één der eersten ontdekte H. W. Hertz dat elektrische trillingen zich ook door de vrije ruimte kunnen voortplanten, zelfs door het luchtledige, het niets heen. Daar men zich moeilijk kon voorstellen, dat trillingen door het „niets" gaan, en men nog geen voldoende inzicht had in het wezen van deze trillingen, voerde men het begrip ether in, wat dan de „drager" ervan zou zijn. Men sprak dan van z.g. „ethergolven". Deze opvattingen heeft men inmiddels verworpen en tegenwoordig spreekt men over elektromagnetische golven. Hun voortplantingssnelheid is 300 000 km per seconde, dat is dezelfde als die van licht. Licht is namelijk ook een elektromagnetische golf, maar



dan met kleine golflengten, en wel tussen 0,4 en 0,8 μm (1 μm = 1 micrometer = 0,001 mm).



Mechanische oscillator

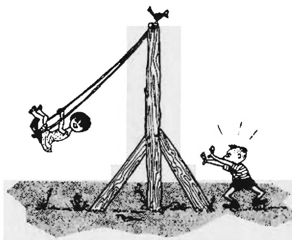
Elektromagnetische golven blijken op te treden rondom elektrische geleiders als daarin een elektrische trilling aanwezig is. Zo'n geleider kan een zendantenne zijn; van hieruit worden de golven in de ruimte uitgestraald. De overeenkomst met geluid gaat nog verder. Niet elke elektrische trilling veroorzaakt namelijk uitstraling. Deze moet voor een bepaalde antenne een frequentie hebben van b.v. tenminste enkele honderdduizenden Hz.

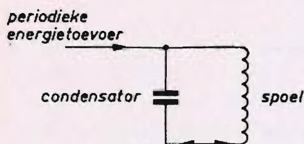
Als de uitgezonden elektromagnetische golven op een geleider, b.v. een ontvangantenne, terecht komen, ontstaat daarin weer een elektrische trilling, die de oorspronkelijke frequentie heeft, maar die natuurlijk zwakker is dan de oorspronkelijke trilling. We weten dat deze echter naar believen kan worden versterkt.

De vraag is nu, hoe men een dergelijke snelle radiofrequente trilling kan opwekken, en wat men aan dergelijke trillingen die ver buiten het audiofrequente gebied liggen, heeft.

De opwekking van hoogfrequente elektrische trillingen

Dit probleem kan worden toegelicht aan de hand van een mechanisch model. Aan een schroefveer hangt een gewicht in rusttoestand. Zodra het gewicht wordt neergedrukt zal in de veer een elastische reactiekracht optreden, die tracht de rusttoestand te herstellen. Wordt het gewicht losgelaten, dan gaat het door deze veerkracht met een geleidelijk toenemende snelheid naar boven. Deze geleidelijkheid is een gevolg van de z.g. traagheid: het kost moeite een lichaam in beweging te brengen. Deze traagheid uit zich echter ook daarin, dat het gewicht moeilijk tot stilstand te brengen is. Als n.l. het gewicht in de ruststand is gekomen, is de veerkracht verdwenen, maar door zijn traagheid, die de oorzaak is dat het niet plotseling kan stoppen, zal het gewicht de ruststand voorbij schieten. Nu treedt weer een naar beneden gerichte kracht op, waardoor het gewicht wordt afgeremd. Het komt geleidelijk tot stilstand en wordt weer versneld naar de ruststand gedreven.





Elektrische trillingskring

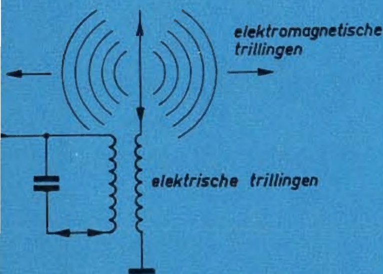
Deze heen en weergaande beweging zal steeds doorgaan: het geheel is in trilling. De uitslag van de trilling (de trillings-amplitudo) zal slechts door de wrijving geleidelijk afnemen. Door op de juiste momenten duwtjes te geven, kan een ongedempte trilling worden verkregen. Een mechanische trilling ontstaat dus door het samenspel van een *elastische kracht* (van de veer) en van de *traagheid* (van het gewicht); dit laatste is een zich verzetten tegen een versnelling of vertraging van de beweging.

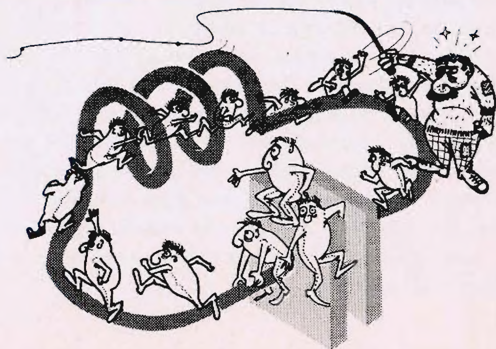
In een elektrische trillingsketen gebeurt eigenlijk hetzelfde. Hierin zullen dus twee bijzondere elektrische onderdelen voor moeten komen: één die, wanneer de elektrische lading in de keten uit zijn rusttoestand bewogen wordt, zich met een elastische kracht tegen deze plaatsverandering verzet, en één, die de „traagheid" van de elektrische stroom veroorzaakt, dus een zich verzetten tegen een toenemen of afnemen van de sterkte van de elektrische stroom.

Deze onderdelen zijn respectievelijk de condensator en de spoel. Op de juiste wijze geschakeld vormen zij tesamen de elektrische trillingskring. De frequentie van de opgewekte trilling is afhankelijk van de elektrische waarden van de condensator en de spoel; is b.v. de condensator klein en heeft de spoel weinig windingen, dan is de frequentie groot.

Een ongedempte trilling wordt hier verkregen door op de juiste momenten kleine beetjes elektrische energie toe te voeren; dit kan met behulp van een schakeling met elektronenbuizen eenvoudig en automatisch geschieden. Worden zeer kleine energiestootjes gegeven, dan zal er een zwakke trilling ontstaan; zijn de stootjes groter, dan zal ook de amplitudo van de trilling groter zijn. De complete schakeling heet een elektrische oscillator.

Zender





Uitzending van elektromagnetische golven

Dit geschiedt door de zendantenne die verbonden is met de elektrische trillingskring. Deze verbinding wordt gevormd door een spoel die in de antenneketen is opgenomen, en die dicht bij de spoel van de trillingskring is geplaatst. Zodoende vormen de beide spoelen een soort transformator, zodat elektrische trillingen, die in de trillingskring opgewekt worden, ook in de antenneketen zullen optreden (inductie). Mits de frequentie hoog genoeg is, zullen nu elektromagnetische golven worden uitgestraald.
De golflengte van de uitgestraalde golven is te berekenen uit de frequentie volgens de betrekking: golflengte × frequentie = 300 000 km/sec (de lichtsnelheid).

Ontvangst van elektromagnetische golven

Zoals reeds gezegd, vallen de door een zender uitgezonden golven op de ontvangantenne. Deze antenne maakt deel uit van een antenneketen, waarin nu elektrische trillingen ontstaan met dezelfde frequentie als de oorspronkelijke trillingen. Er zijn echter meer zenders in de „lucht", elk weer met een andere frequentie. Elk zal in de antenneketen een elektrische trilling doen ontstaan, zodat er een groot aantal trillingen aanwezig is, elk met een eigen frequentie. Daar de ontvanger echter op slechts één frequentie moet reageren, moeten daarin voorzieningen worden getroffen om dit te bereiken. Hierbij maakt men gebruik van het verschijnsel „resonantie", waardoor men de ontvanger behalve gevoelig ook z.g. selectief kan maken.
Daartoe wordt een elektrische trillingskring (afstemkring), bestaande uit condensator en spoel, met de antenneketen gekoppeld op dezelfde wijze als reeds bij de zender besproken is. Deze keten zal slechts met een bepaalde frequentie kunnen meetrillen of resoneren. Door de waarde van de condensator variabel te maken met behulp van een

Golflengte	Golfgebied	Gebruikt voor	Frequentie
1000 m	lange golf	omroep	300 kHz
300 m	middengolf	omroep	1 MHz
100 m	korte golf	lucht- en scheepvaart	3 MHz
30 m	ultrakorte golf	wereldomroep	10 MHz
3 m	metergolven	televisie	100 MHz
30 cm	decimetergolven		1000 MHz
3 cm	centimetergolven	radar	10 000 MHz

1 MHz = 1000 kHz = 1 000 000 Hz

variabele plaatcondensator (afstemcondensator), kan deze frequentie gevarieerd worden en kan dus het gewenste station worden uitgezocht. De frequentie, waarbij de kring „reageert", heet de resonantiefrequentie; bij deze frequentie is de kring in resonantie. Bij deze resonantie treedt een trilling op met grote amplitudo groter dan die van de trilling in de antenne. Deze trilling kan verder naar behoefte versterkt worden.

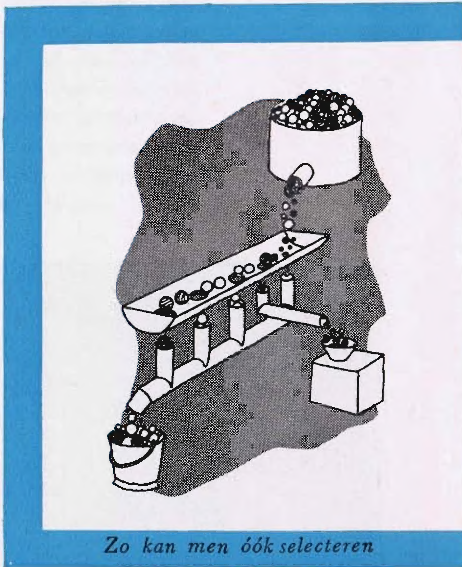
De detectie

Hoe kan de aanwezigheid van de ontvangen hoogfrequente elektrische trilling worden aangetoond? De trilling is te snel om door een aanwijsinstrument (b.v. een stroommeter, een ampèremeter) te worden aangewezen, omdat de naald de snelle wisselingen niet kan volgen. Als we er echter een gelijkstroom van maken, dan is dit wel mogelijk. Dit kan met behulp van een gelijkrichter, die van de wisselstroom de stroom in de ene — positieve — richting doorlaat, zich echter verzet tegen stroomdoorgang in de andere — negatieve — richting. Deze gelijkrichter werkt op dezelfde manier als het ventiel in een pomp. Als de zuiger heen en weer wordt bewogen, ontstaat er in de pomp beurtelings een druk (positief deel) en een zuiging (negatief deel). Het ventiel zorgt dat in de afvoerleiding alleen de druk een stroming kan veroorzaken.

Zodoende wordt een scheutsgewijze gelijkstroom verkregen; het „gelijk" heeft dan alleen betrekking op de richting, niet op de sterkte van de stroom.

Door nu een soort reservoir aan te brengen, dat steeds een weinig elektriciteit opspaart en deze gedurende de tijd, dat er „niets" is, afgeeft, kan de stroom gelijkmatiger van sterkte worden gemaakt. Een dergelijk reservoir is een condensator.

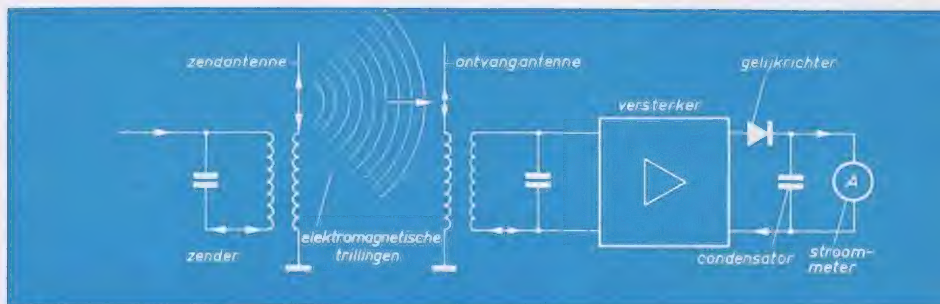
De stroom kan nu worden gemeten met een stroommeter. Als de zender met constante sterkte elektromagnetische golven uitzendt, zal de meter dus een (nagenoeg) constante uitslag vertonen.



Zo kan men óók selecteren

Wat kan men nu hiermede doen ?

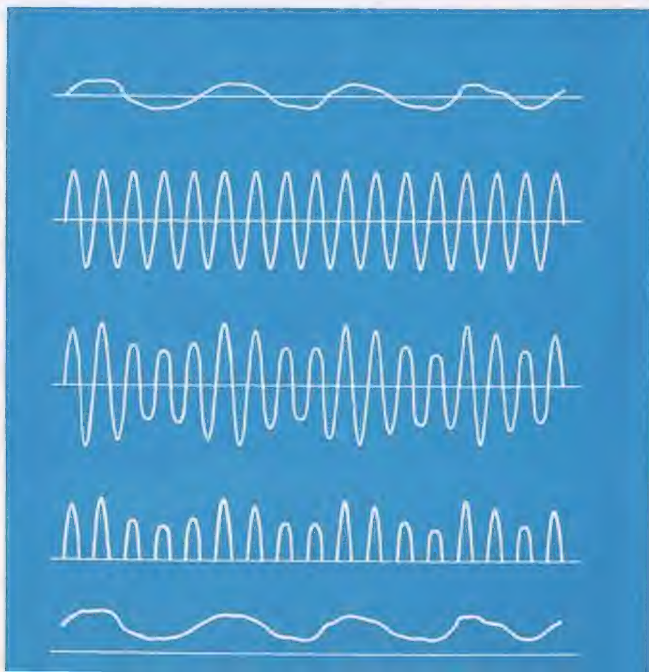
Als nu de zender wordt uitgeschakeld, is er geen stroom meer en vertoont de stroommeter geen uitslag meer. Door de zender telkens aan en uit te schakelen in een bepaalde code, b.v. de morsecode, kunnen berichten worden overgebracht.
Dit is het principe van de draadloze telegrafie. In werkelijkheid is het natuurlijk wel iets ingewikkelder.



Het is echter ook mogelijk om de sterkte van de zender in een bepaald tempo te variëren; stel dit gaat in een tempo van 500 keer per seconde. Dit lijkt snel, maar gedurende 1/500 seconde maakt de zender, als hij met een frequentie van 1 000 000 Hz werkt, toch altijd nog 2 000 trillingen. Een sterktewisseling van 500 Hz is vergeleken met de frequentie van de zender, toch een langzame.
Voor de stroommeter is deze 500 Hz echter te snel, maar als in plaats van de meter een telefoon of een luidspreker wordt genomen, dan zal het trilplaatje van de telefoon of de conus van de luidspreker in een tempo van 500 Hz gaan trillen, en er ontstaat dus een geluidstrilling van die frequentie (toonhoogte). De hoogfrequente elektromagnetische



golf heeft dan slechts als hulpmiddel gediend om de hoorbare (audiofrequente) trilling van 500 Hz over te „dragen"; hij heet dan ook draaggolf.
Wat met een trilling van 500 Hz kan, kan met iedere andere audiofrequente trilling ook. Men kan door middel van een elektronische schakeling, de z.g. modulator, de sterkte van de draaggolf variëren in het rithme van de door een microfoon geleverde audiofrequente trilling, dus in het rithme van het op de microfoon vallend geluid (modulatie). Dat kan dus een toon van 500 Hz zijn, doch ook elk ander geluid. Aan de ontvangstzijde ontstaat een gelijkstroom, die in het rithme van de audiofrequente trilling in sterkte varieert en daardoor in dat rithme de luidspreker in trilling brengt. Op deze wijze is het geluid overgebracht. Het doel is bereikt.
Hiermede is dus het principe van de draadloze telefonie en van de omroep gegeven. Eigenlijk is alleen het geluid en de audiofrequente trillingen waaruit dat bestaat, van belang. Deze trillingen zijn echter te langzaam om, omgezet in elektrische trillingen, voldoende uitstraling van elektromagnetische golven te veroorzaken.
Men maakt daarom gebruik van een hoogfrequente elektromagnetische draaggolf en brengt daar, door z.g. mo-



geluidstrilling (audiofrequent)

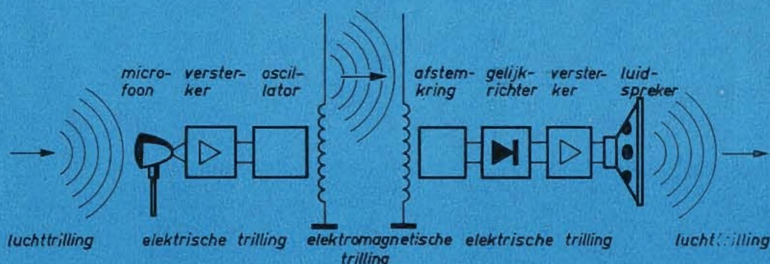
ongemoduleerde draaggolf (hoogfrequent)

gemoduleerde draaggolf

gelijkgerichte draaggolf

afgevlakte trilling

dulatie, de over te brengen audiofrequente trilling in onder.
Het is van groot belang dat nu elk radiostation in staat is geluid uit *hetzelfde* audiofrequente gebied over te brengen zonder onderlinge storing, n.l. doordat elke zender een eigen, *andere* draaggolffrequentie toegewezen is. Zonder zo'n, voor elke zender kenmerkende draaggolf zou dit anders tot een onontwarbare kakafonie van geluiden aanleiding geven.
In het voorafgaande is een verklaring gegeven van de „radio", waarbij slechts de hoofdzaken zijn besproken. Het spreekt vanzelf, dat er vele gecompliceerde schakelingen nodig zijn om uiteindelijk tot goede resultaten te komen. Bovendien bevatten de moderne zenders en ontvangers vele verfijningen en toevoegingen, die alle bedoeld zijn om de toestellen gevoeliger, selectiever, handiger en betrouwbaarder te maken.
Het is echter buiten de bedoeling van dit boekje om daar verder op in te gaan.
Bij het lezen van het voorgaande zullen bij de lezer vele vragen gerezen zijn, b.v. hoe werkt dan een versterker, hoe een gelijkrichter, etc. In de volgende boekjes van deze serie zal o.a. op dergelijke vragen antwoord worden gegeven.



WOORDEN EN BEGRIPPEN

Gedrukt in Nederland.

PHILIPS NEDERLAND N.V. EINDHOVEN

AFD. ONDERWIJSVOORLICHTING